

*Artículo de Investigación. Revista Gaceta Técnica. Volumen 14 (1) pp.23-32, julio– diciembre, 2015.
ISSN 1856-9560 (Impreso) ISSN: 2477-9539 (Internet) Depósito Legal pp 1999907LA22 ppi201602LA4730*

EVALUACIÓN DE PANELES AISLANTES FABRICADOS EN FIBRAS DE TOTORA (TYPHA LATIFOLIA)

EVALUATION OF INSULATING PANELS MADE OF CATTAILS FIBERS (TYPHA LATIFOLIA)

Velasco, L.*, Goyos, L. **, Delgado, R. *, Quezada, Y. ******

Recibido 15/10/2015: Aprobado: 03/12/2015

RESUMEN

En el presente trabajo se evaluó la capacidad aislante de paneles elaborados a base de la *Typha Latifolia* en diferentes formas. Los resultados muestran una capacidad aislante relevante, catalogando la totora como un elemento de potencial aplicación como aislamiento en edificaciones. El desarrollo de aislantes térmicos basados en residuos de biomasa es una línea de investigación prometedora que permitirá la mejora sustancial de la eficiencia energética, así como el confort térmico del hábitat con soluciones sustentables de bajo coste. El desarrollo de elementos constructivos contemporáneos como paneles o mantas de totora, permitirá la mejora de la sustentabilidad de soluciones industriales, así como la reducción importante del coste de producción de estas.

Palabras clave: *Capacidad aislante, Typha Latifolia, paneles aislantes*

**Doctorado en Arquitectura y Eficiencia Energética en Edificios por la Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Barcelona. Investigador de la Universidad de las Fuerzas Armadas, Departamento de Ingeniería Mecánica y Energía. Correo: luisvelascoroldan@gmail.com*

***Ingeniero Mecánico, Universidad de la Habana. Master en Tecnología Mecánica Instituto Superior Politécnico "José Antonio Echeverría", Doctor en Ciencias Técnicas. Correo: leonardo.goyos.perez@gmail.com*

****Doctor e Investigador de la Universidad de las Fuerzas Armadas (ESPE) dentro del Departamento de Ingeniería Mecánica y Energía integrado en el Grupo de Investigación en Energías Renovables. Avenida Rumiñahui s/n. Sangolquí. Ecuador. Correo: rrdelgado1@espe.edu.ec*

*****Ingeniera Química. Master en Energías Renovables de la ESPE. Correo: yolandaquezada1984@hotmail.com*

ABSTRACT

In this paper the insulating capacity of panels made of *Typha latifolia* in different forms was evaluated. The results show a significant insulating capacity, placing the cattail as a potential isolating element in buildings. The development of thermal insulation elements based on biomass residues is a promising line of research that will provide substantial improvement in energy efficiency and thermal comfort with sustainable habitat solutions at low cost. The development of contemporary construction elements such as panels or blankets of totora, will permit the improvement of industrial solutions sustainability and a significant reduction in the cost of its production.

Keywords: *Insulating capacity, Typha latifolia, construction elements, thermic panels*

1. INTRODUCCIÓN

Existen múltiples componentes edificatorios ancestrales como muros o pisos, susceptibles de mejora mediante la adición de altos porcentajes de distintas biomásas en su composición, con el objetivo de reducir drásticamente su conductividad térmica. La totora (*Typha latifolia*) es una de ellas. El desarrollo de elementos constructivos contemporáneos como paneles o mantas basados en dicha planta permitirá la mejora de la sustentabilidad de soluciones industriales de aislamiento térmico así como la reducción importante del coste de producción de estas.

Como puede observarse en la Figura 1, la totora es una planta acuática del genero *Typha* y de la familia *Typhaceae*, comúnmente conocida también como junco. Se encuentra frecuentemente en marismas, pantanos y aguas poco profundas tanto dulce o salobre, pudiendo crecer hasta tres metros de altura con una densidad de hasta 280 tallos aéreos por metro cuadrado de diámetro variable entre 0,5 y 2,0 cm. En su hábitat, la proporción de agua en su interior es de en torno al 70% [1].



Figura 1. Tejido tubular esponjoso del tallo de la totora. Fuente: propia



Figura 2. Ecosistema propio de crecimiento. Fuente: propia

En la Figura 2, se observa como las hojas de la planta tienen un tejido de soporte reforzado con fibras, relleno de un tejido esponjoso y suave compuesto por hermicelulosa, x-celulosa y por lignina principalmente [2] [3]. Gracias a dicha constitución puede esperarse un potencial aislante considerable, además de una adecuada durabilidad frente a la pudrición y a la formación de mohos [4]. Los usos tradicionales más habituales dentro de su hábitat son el forraje y la construcción de techos mediante el trenzado de tallos o su amarrado. Si bien existen algunos estudios acerca del refuerzo de materiales tales como hormigones o paneles de escayola con fibras de totora [3] [5] [6], estudios en torno a la utilización de dicha planta como aislante térmico son inexistentes.

2. DESARROLLO

Si bien las fibras vegetales podrían ser utilizadas de muy diversas formas en la edificación, ya sea en masa, bloques, o mantas, los paneles destinados a formación de cielos rasos o trasdosados representan un campo de grandes posibilidades aplicables de los tallos de totora, al no exigir requerimientos de resistencia estructural. Dichos paneles, destinados a situarse en el interior de cámaras de aire entre muros o como revestimiento interior del edificio, no presentan problemas de durabilidad frente a las inclemencias del tiempo.

Por el contrario, el principal problema a solventar sería encontrar un método de aglomeración del panel, en manera tal, que se mantenga estable y preservado de posibles ataques de hongos, insectos o roedores. Desde un punto de la sostenibilidad y de la viabilidad de la solución aislante, además del objetivo de obtener un material con la menor conductividad posible, se han considerado los siguientes factores que permitan asegurar su compatibilidad con la dinámica climática, social, económica o constructiva:

- Requerimientos climáticos de los posibles emplazamientos
- Requerimientos de estabilidad dimensional

- Abundancia del recurso vegetal para su utilización sin peligro para el ecosistema
- Coste y mantenimiento del equipo que permita su fabricación
- Coste, acceso y sostenibilidad ecológica de los materiales aglutinantes
- Coste de la mano de obra
- Consumo energético del proceso
- Durabilidad, preservación frente a posibles ataques biológicos

En el presente estudio, para la toma de muestras de ensayo, se trabajó con cinco tamaños de partículas de totora: 30,0, 10,0, 3,0, 1,0 y 0,5 cm. (ver Figura 3).



Figura 3. Paneles aislantes de totora de tamaño de fibra a) de 30,0 y b) de 3,0 cm (aglomerados).

Fuente: propia

Con dichas secciones de totora se conformaron muestras de 30,0 x 30,0 x 4,0 cm mediante un prensa diseñada y fabricada, capaz de ejercer presión sobre las muestras para facilitar la adhesión (ver Figura 4)

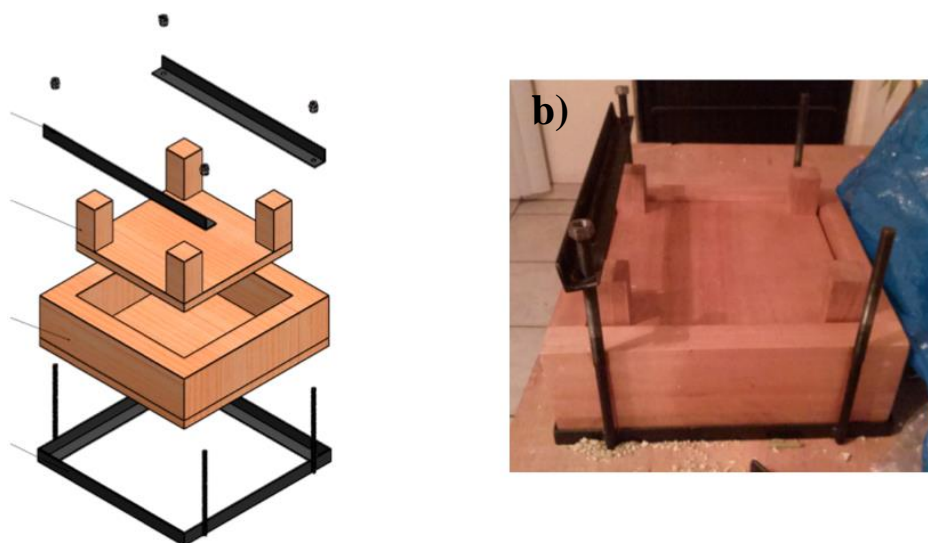


Figura 4. Prensa para la fabricación de paneles de muestra a) esquema funcional y b) fotografía de la prensa construida. *Fuente: propia*

Se realizaron pruebas con diferentes aglutinantes como colas vegetales o almidones, colas animales como la glutina, la caseína y albumina de sangre o colas industriales, así como resinas tales como la baquelita, las resinas epoxi y poliéster. Tras una selección en función de sus propiedades de adhesión con la biomasa, su sostenibilidad, su coste y su accesibilidad y diversos ensayos preliminares se determinó como el aglutinante más conveniente el acetato de polivinilo (PVA).

Este aglutinante resultó el material que presentó mejores prestaciones adhesivas con un menor coste, siendo un material biodegradable, no tóxico y de amplia distribución. Se realizaron mezclas con distintas secciones de tallo de totora y distintas proporciones de aglutinante evaluándose la resistencia, estabilidad dimensional, apariencia, trabajabilidad y tiempo de secado de las muestras, cuyo resumen puede observarse en la Tabla 1.

Tabla 1. *Resumen de los resultados de las distintas muestras de paneles*

Tamaño de partícula	Aglutinante PVA	Adhesión	Rigidez	Trabajabilidad
30,0 cm	13,1%	Mala	Mala	Mala
10,0 cm	16,7%	Mala	Mala	Mala
3,0 cm	19,5%	Mala	Mala	Mala
1,0 cm	23%	Buena	Buena	Buena
0,5 cm	34%	Buena	Buena	Buena

Se observó que los paneles en los que se utilizaron tamaños de partícula de 30,0, 10,0 y 3,0 cm no presentaban una buena adherencia, resultando excesivamente frágiles al presentar un exceso de vacíos entre partículas. Es por ello que, en el caso de emplearse tallos largos en la construcción el método de atado o tejido parece más adecuado siempre y cuando se evite el paso del aire por convección a través del material aislante. Las muestras conformadas con secciones de 1.0 y 0.5 cm de longitud en cambio, presentan una fuerte adhesión entre las partículas y una buena rigidez.

Los resultados de las distintas pruebas demuestran que el tamaño de partícula influye en la cantidad de aglutinante requerido para la elaboración de los paneles, principal factor que incrementa el coste de los mismos. A medida que disminuye el tamaño de partícula, se requiere una mayor cantidad de aglutinante para la compactación del panel (Figura 5).

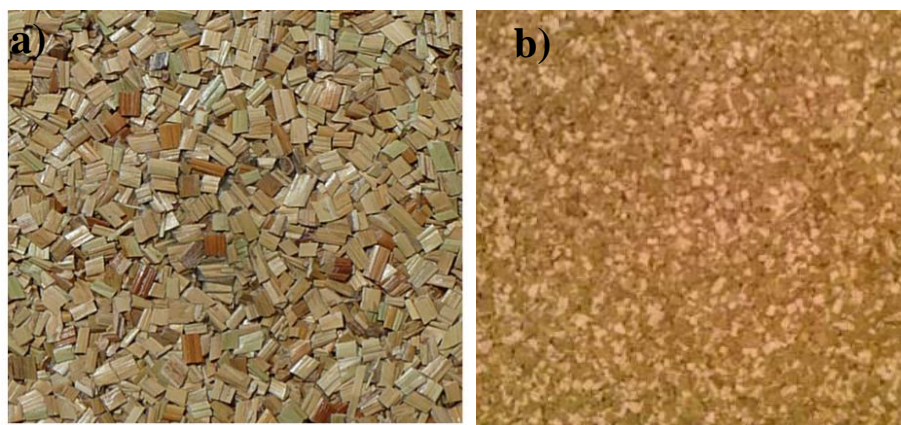


Figura 5. Paneles con tamaño de partícula de a) 1,0 y b) 0,5 cm. Fuente: propia

Por tanto, disminuye la resistencia a la rotura ante esfuerzos de tracción o torsión en paneles de grandes dimensiones, por ello se recomienda, a partir de un tamaño de fibra de 1,0 cm, la inserción de fibras de sicse o fibra vegetal similar en todas direcciones, para mantener una rigidez suficiente para elaborar paneles similares (ver Figura 6)

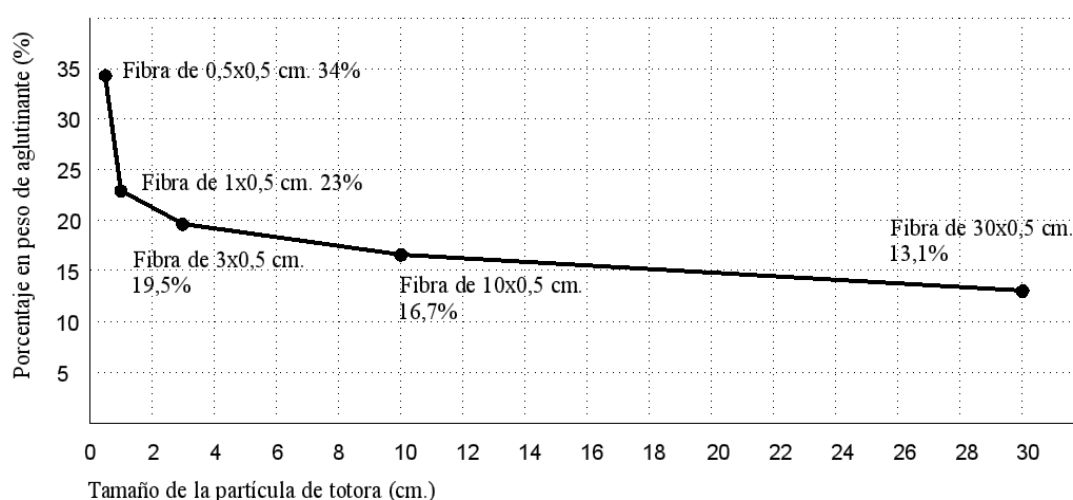


Figura 6. Porcentaje de cola necesaria en función del tamaño de las fibras de totora. Aglutinante sin diluir. Fuente: propia

Una vez determinados los tamaños óptimos de partícula se realizaron diversas pruebas de disolución de la cola en agua para aumentar la trabajabilidad y disminuir el porcentaje de aglutinante, los resultados óptimos fueron los que se especifican en la Tabla 2:

Tabla 2. Relación biomasa/aglutinante/agua óptima

Tamaño de la fibra (cm)	Totora (% en peso)	Aglutinante (% en peso)	Dilución del aglutinante
1,0 x 0,5	82,5	17,5	1,5:1
0,5 x 0,5	69,7	30,3	3:1

2.1. Ensayo de conductividad

Una vez obtenidos los tamaños de las fibras, el material aglomerante y el porcentaje de dilución óptimos, se determinaron los respectivos coeficientes de conductividad térmica del panel formado por totora de 1,0 cm de sección, además de la conductividad térmica de la propia biomasa. Las pruebas se han realizado siguiendo el método de ensayo para la determinación de las propiedades de transmisión térmica, según criterios y protocolos de ensayo de la ASTM [7] [8]. Esta norma establece criterios de laboratorio para la medida del flujo unidireccional, y estacionario de calor a través de dos muestras planas y homogéneas de caras paralelas, y espesor conocido testadas a temperaturas constantes mediante un sistema de placa caliente central y doble placa fría exterior. Mediante el ensayo se determinan el diferencial de temperaturas en ambas caras de las muestras, deduciéndose mediante la ley de Fourier la conductividad térmica.

$$Q = A K (-dT/dX) \quad (1)$$

Q	flujo de calor a lo largo del espesor, medida en W
A	área de la sección del material, perpendicular al flujo de calor, medida en m ²
dT/dX	gradiente de temperatura entre la placa fría y caliente, medida en °K siendo dX el espesor de la muestra
K	coeficiente de conductividad térmica del material, medida en W m ⁻¹ K ⁻¹

El flujo de calor (W) a través del área, es el producto del voltaje que se entrega a la placa caliente por la demanda de corriente de la misma para producir un determinado diferencial de temperatura. El banco de pruebas utilizado pertenece al Laboratorio de Energías Renovables de la Escuela Politécnica del Ejército. El aparato cumple estrictamente con las prescripciones establecidas por las normas ASTM en cuanto a construcción y calibración para la certificación de los resultados obtenidos [9] (ver Figura 7).

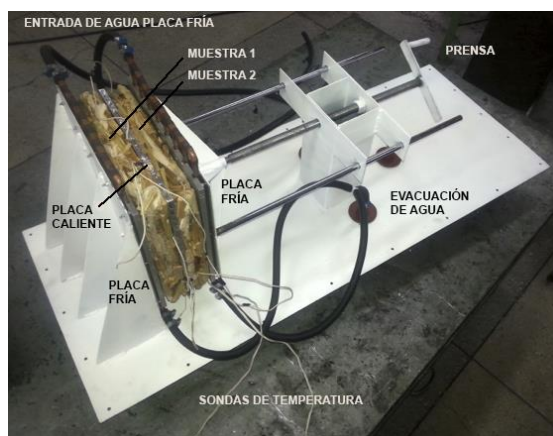


Figura 7. Banco de pruebas de conductividad. Fuente: propia

Las muestras se realizaron de idéntica medida a la placa calefactora (300 x 300 mm). Estas son secadas hasta reducir el contenido de humedad de las mismas, a la humedad ambiental. Se realizaron las pruebas siguiendo el protocolo de ensayo de la norma [9] ubicando la placa caliente entre las dos muestras de totora, mientras se presiona con las placas frías las muestras. Previamente se colocaron las sondas de temperatura en la placa fría, placa caliente, guarda perimetral y el intersticio entre la placa caliente y la guarda.

Es de especial importancia la obtención de un acabado plano en las muestras para asegurar el completo contacto entre estas y las placas calefactora y refrigeradora, así como el aislamiento perimetral de las muestras y la placa caliente para evitar pérdidas de calor y asegurar un flujo de energía estrictamente perpendicular a las mismas. Seleccionado el voltaje a aplicar en el ensayo se dio inicio a esta, a la espera de alcanzar el estado estacionario de temperaturas.

Una vez alcanzado, se determina el diferencial de temperaturas entre las caras interiores y exteriores de las muestras. Estas y el diferencial de potencial aplicado permitieron determinar el coeficiente de conductividad del material aplicando la ley de Fourier. La determinación del coeficiente de conductividad térmica de la biomasa a granel se realiza el mismo protocolo de ensayo utilizando dos contenedores de metal relleno de secciones de totora de 1,0 cm de largo, aproximadamente.

3. RESULTADOS

Los resultados obtenidos en los ensayos de la totora en masa para una densidad de 106,86 kg/m³ se observan en la Tabla 3. En ella se evidencia como, para una diferencia de temperaturas de 12 °C, la conductividad térmica de la totora en masa en secciones de 1,0 cm de largo se estabiliza en torno a los 240 minutos de ensayo en un valor de 0,032 W/m² °C.

Tabla 3. Conductividad térmica de totora en masa obtenida tras la estabilización térmica del ensayo

Tiempo (min)	Temperatura Placa fría (°C)	Temperatura placa caliente (°C)	Diferencia de Potencial (V)	Intensidad de Corriente (A)	Q/2 (W)	Coefficiente de conductividad (W/m ² °C)
240	14,2	26,5	4,5	0,05	0,112	0,032
300	14,2	26,6	4,5	0,05	0,112	0,032
400	14,4	26,6	4,5	0,05	0,112	0,032

En el caso de los ensayos para la determinación del coeficiente de conductividad térmica, en placas rígidas de totora de 1,0 cm de sección aglutinado con un 17,5% de PVA diluido en una proporción de 1,5/1, con una densidad de 251,4 Kg/m³ y para un diferencial de temperaturas de 12 °C, los resultados obtenidos se muestran en la Tabla 4. El coeficiente de conductividad

térmica para las placas rígidas de totora queda determinado en 0,021 W/m² °C, alcanzando la estabilidad térmica en torno a los 300 minutos de ensayo.

Tabla 4. Conductividad térmica para placas rígidas de totora tras la estabilización térmica del ensayo

Tiempo (min)	Temperatura Placa fría (°C)	Temperatura placa caliente (°C)	Diferencia de Potencial (V)	Intensidad de Corriente (A)	Q/2 (W)	Coefficiente de conductividad (W/m ² °C)
240	18,0	29,2	5,73	0,05	0,14	0,021
300	18,9	30,2	5,73	0,05	0,14	0,021
400	20,5	31,8	5,73	0,05	0,14	0,021

4. CONCLUSIONES

El aglutinante basado en Acrilato de Polivinilo (PVA) diluido, presenta las mejores características técnicas, económicas y sostenibles entre todos los aglomerantes comparados al ser un material accesible, económico y biodegradable que demuestra una satisfactoria adhesión de la biomasa. Las secciones de totora de 1,0 y 0,5 cm aglomeradas con Acrilato de Polivinilo presentan las mejores características de adhesión y firmeza para la fabricación de placas de aislamiento térmico. El porcentaje de aglutinante óptimo de Acrilato de Polivinilo es del 17,5 % en peso para secciones de totora de 1.0 cm de longitud con una dilución de PVA en agua de 1,5:1. El porcentaje de aglutinante óptimo de Acrilato de Polivinilo en peso para partículas de 0.5 cm de longitud es de 30,3% con una dilución de 3:1.

Estimando los valores de conductividad de ambas mezclas en relación al coste de conformación de la placa determinando por la cantidad de aglutinante, se determina como panel óptimo el formado por secciones de 1.0 cm de longitud. El coeficiente de conductividad de dicho panel es de 0,021 W/m² °C para diferenciales de temperatura de 12 °C. Se determina la conductividad de la totora a granel para densidades de de 106,86 Kg/m³ y secciones de 1,0 cm de longitud 0,032 W/m² °C para diferenciales de temperatura de 12°C.

Se demuestra que la totora presenta un potencial aislante, comparable con los aislamientos térmicos industrializados y comercializados, presentándose como una alternativa altamente sostenible de aislamiento térmico de bajo coste capaz de mejorar en gran medida la eficiencia energética de áreas cercanas a su crecimiento o cultivo.

5. REFERENCIAS

- [1] O. Campos, "Uso de la totora en la producción agrícola de la cuenca del Río Camacho , Tarija , Bolivia", Leisa, Diciembre de 2003, pp. 19–21, 2003.
- [2] M. Quiroz, F.P. Noguera, "Efecto de cinco dosis de probiótico bioseptic en la

- descomposición de totora y su evaluación en el cultivo de lechuga en Yahuarcocha", Tesis de pregrado, Facultad de Ingeniería en ciencias agropecuarias y ambientales, Escuela de Ingeniería Agropecuaria, Ibarra, 2007.
- [3] E. M. Deago, "Typha angustifolia evaluada como sustrato sólido orgánico natural para biorremediar agua subterránea contaminada con nitrato", *Revista de I+D Tecnológico*, vol.11, n°1, pp. 41–54, 2015.
- [4] A. García Santos, "Aplicaciones constructivas de un material compuesto de escayola y fibras naturales de Typha Latifolia", *Materiales de Construcción*, vol. 54, n° 273, 2003.
- [5] K. Ramanaiah, V.R. Prasad y K. Chandra Reddy, "Mechanical and Thermo-Physical Properties of Fish Tail Palm Tree Natural Fiber–Reinforced Polyester Composites", *International Journal of Polymer Analysis and Characterization*, vol. 18 n°2, pp.126–136, 2013.
- [6] G.Wuzella, A.R. Mahendran, T. Bätg y A. Kandelbauer, "Novel, binder-free fiber reinforced composites based on a renewable resource from the reed-like plant Typha" *Industrial Crops and Products*, vol.33, n°3, pp 683–689, 2013.
- [7] M.V. Madurwar, R.V. Ralegaonkar y S. Mandavgane, "Application of agro-waste for sustainable construction materials: A review", *Construction and Building Materials*, vol.38, n°1, p.p 872–878, 2012
- [8] *Standard Test Method for Steady-State Heat Flux Measurements and Thermal Transmission Properties by Means of the Guarded-Hot-Plate*, C177-13, 2013.
- [9] American Society for Testing Materials (ASTM) *Standard Terminology Relating to Thermal Insulation*, C168-13, 2014.